

# Analisis Pengaruh Penerapan Metode *Bridge Health Index* pada Jembatan Sungai Jalan Tol Ngawi – Kertosono

Ayu Saraswati<sup>1</sup>, Akhmad Aminullah<sup>1\*</sup>, Andreas Triwiyono<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA

\*Corresponding author: akhmadaminullah@ugm.ac.id

## INTISARI

Sistem manajemen jembatan adalah metode pemantauan yang diterapkan selama masa layan jembatan. Jembatan mempunyai peran penting dalam operasional jalan. Biaya pemeliharaan jalan yang tinggi menciptakan urgensi untuk mengoptimalkan alokasi dana. Untuk mencapai tujuan tersebut, diperlukan strategi tepat dalam menentukan tindakan yang sesuai. Di Indonesia, sistem manajemen jembatan masih dihadapkan pada permasalahan penilaian yang bersifat hirarkis, sehingga dapat mengakibatkan bias pada hasil akhir yang mengarah pada kesamaan penilaian dan memungkinkan hasil yang tidak akurat. Salah satu pendekatan yang digunakan dalam mengembangkan program pemantauan jembatan adalah *Bridge Health Index*. Metode ini didasarkan pada perbandingan rasio kondisi elemen dengan menggunakan koefisien bobot yang ditentukan. Untuk mengetahui efektivitas metode tersebut, analisis dilakukan pada lima jembatan di jalan tol Ngawi – Kertosono. Perbandingan koefisien tertimbang juga ditunjukkan dalam penelitian ini. Hasil studi menunjukkan bahwa metode ini mengurutkan prioritas jembatan berdasarkan elemen struktural. Kerusakan pada elemen inti secara signifikan mempengaruhi nilai sisa jembatan. Berdasarkan hasil pemerinkatan kondisi, jembatan Kedungrejo menduduki peringkat pertama. Koefisien non-linier merupakan pilihan terbaik dalam menggambarkan variabilitas dan kerusakan elemen. Selain itu, saran untuk tindakan yang sesuai dapat diberikan berdasarkan jenis dan tingkat kerusakan. Lebih lanjut, hasil ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan dalam pengembangan sistem manajemen jembatan Indonesia di masa mendatang.

Kata kunci: Kondisi Jembatan, *Bridge Health Index* (BHI), *Condition State*

## 1 PENDAHULUAN

Sistem manajemen jembatan merupakan serangkaian tindakan yang diterapkan untuk mengatur dan memantau fungsi struktur jembatan selama masa operasionalnya (Puspitasari dkk., 2022). Jembatan dalam lingkup jalan tol memiliki peranan penting dalam hal menghubungkan dan menunjang fungsi jalan tol, guna mendukung mobilitas serta aksesibilitas manusia dan barang yang berdampak terhadap pembangunan sosial dan ekonomi. Peningkatan volume lalu lintas dan beban berlebih pada jalan tol dapat memicu kerusakan yang apabila tidak ditangani tepat waktu akan mengganggu fungsionalitas struktur, hal ini membuat adanya tuntutan akan pelayanan yang memadai (Chassiakos dkk., 2005; Puspitasari dan Harahap, 2023; Tanubrata dan Asmara, 2008). Oleh karena itu, inspeksi rutin perlu dilakukan untuk memantau kondisi dan kinerja jembatan. Untuk mendapatkan hasil inspeksi membutuhkan biaya yang relatif tinggi. Sehingga perlu disusun strategi yang tepat untuk memaksimalkan alokasi dana secara efektif dan efisien.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mencari dan memberikan alternatif sistem manajemen jembatan berdasarkan penilaian kondisi yang dapat diterapkan di Indonesia. Indonesia saat ini telah memiliki sistem manajemen penilaian kondisi jembatan yang dikenal dengan nama *Bridge Management System* (sekarang Pedoman Pemeriksaan Jembatan 2022). Penerapan sistem manajemen ini telah dilakukan sejak 1993. Akan tetapi, penerapan sistem ini masih perlu ditingkatkan (Puspitasari dkk., 2022), hal ini dikarenakan penilaian yang dilakukan secara hirarkis pada sistem ini mengakibatkan bias pada hasil akhir sehingga terjadi kemiripan penilaian antar jembatan satu dengan yang lainnya dan memungkinkan hasil yang kurang akurat (Nugroho, 2017; Vaza, 2016; Wahyudhi dkk., 2018).

Dalam sintesis Nasional dan Internasional, dijelaskan berbagai pendekatan yang dapat digunakan untuk menentukan indeks kondisi jembatan (Chase dkk., 2016). Salah satunya adalah *Bridge Health Index*. Metode ini merencanakan program pemantauan jembatan dengan menghitung nilai sisa jembatan, yang ditentukan oleh rasio kondisi elemen-elemennya, dengan mempertimbangkan biaya kegagalan, biaya perbaikan, atau bobot yang telah ditentukan sebelumnya (Inkoom dkk., 2017; Jiang, 2012; Jiang dan Rens, 2010b; Sobanjo dan Thompson, 2016; Wakchaure dan Jha, 2012).

Dalam upaya pengembangan sistem manajemen jembatan di Indonesia, beberapa penelitian telah dilakukan (Nugroho, 2017; Puspitasari dan Harahap, 2023; Ramdhani dan Sumargo, 2020; Wahyudhi dkk., 2018; Wijaya dkk., 2021). Secara keseluruhan, kajian yang mendalam terkait penerapan *Bridge Health Index* (BHI) belum banyak dibahas. Indeks kesehatan ini telah digunakan secara luas di beberapa negara bagian dan menunjukkan potensi untuk diadopsi di berbagai negara. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menilai pengaruh penerapan metode BHI dalam mengidentifikasi dan mengevaluasi kondisi jembatan berdasarkan rasio kondisi elemen. Hasil analisis dapat digunakan sebagai saran dan pertimbangan untuk mengembangkan sistem manajemen jembatan di Indonesia.

## 2 METODE DAN STUDI LITERATUR

### 2.1 Metodologi Penelitian

Lima jembatan sungai dengan gelagar Tipe I yang terbuat dari beton pracetak dipilih untuk studi ini. Pemilihan ini didasarkan pada pertimbangan tingkat kerusakan yang tinggi akibat pengaruh faktor lingkungan sungai yang berkaitan dengan perilaku air, seperti gerusan, degradasi, dan penyempitan aliran yang berdampak pada struktur jembatan. Dalam penelitian ini digunakan data sekunder yang diperoleh dari PT Jasa Marga Ngawi Kertosono Kediri pada tahun 2022, yang meliputi laporan inventarisasi dan inspeksi visual jembatan. Data tersebut kemudian dianalisis lebih lanjut dengan menggunakan metode BHI melalui dokumentasi setiap kerusakan elemen, termasuk kuantitasnya. Lokasi masing – masing jembatan di sepanjang Ruas Tol Ngawi – Kertosono dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian (Sumber: Google Earth akses pada 28/12/2023)

### 2.2 Bridge Health Index (BHI)

*Bridge Health Index* pertama kali diimplementasikan pada jembatan di California (Shepard dan Johnson, 2001), dan kemudian diaplikasikan dalam *Bridge Management Software* yaitu AASHTOWARE™ dan BrM (*Bridge Management*, sebelumnya Pontis) (Chase dkk., 2016). Pendekatan ini menggunakan metodologi berbasis rasio yang membandingkan kondisi elemen saat ini dengan kondisi elemen jembatan pada saat terbaiknya (kondisi optimal), untuk mendapatkan nilai sisa jembatan yang digambarkan dengan peringkat numerik 0 - 100 sebagai cerminan data inspeksi elemen. Sistem ini mencakup semua keadaan kondisi dengan memberikan bobot pada setiap elemen berdasarkan biaya penggantian, biaya kegagalan, atau bobot lain yang sesuai (Sobanjo dan Thompson, 2016). Indeks Kesehatan (HI) dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 1 – 4 (Shepard dan Johnson, 2001).

$$HI = \frac{\sum CEV}{\sum TEV} \times 100 \tag{1}$$

$$TEV = TEQ \times FC \tag{2}$$

$$CEV = \sum(QCS \times WFi) \times FC \tag{3}$$

$$WF = [1 - (Condition\ State\ \# - 1)(1/State\ Cpunt - 1)] \tag{4}$$

dimana QCS adalah kuantitas dalam *condition state*, WF adalah *weighting factor*, FC adalah biaya kegagalan elemen, TEV adalah nilai total elemen, TEQ adalah kuantitas total elemen, dan CEV adalah nilai elemen saat ini. Biaya yang digunakan dapat berupa biaya perbaikan atau biaya kegagalan elemen.

Kajian lebih lanjut mengenai implementasi Persamaan 1 – 4 dalam menentukan nilai jembatan telah dilakukan, ditemukan bahwa *health index* tidak merepresentasikan nilai jembatan secara akurat karena nilai yang relatif kecil, sensitivitas variasi indeks kesehatan terhadap elemen masih kurang, dan masih bersifat subyektif karena menggunakan data biaya suatu kota yang seringkali tidak akurat (Jiang, 2012; Jiang dan Rens, 2010b). Oleh karena itu, pengembangan dilakukan dengan dasar pemikiran bahwa teori pembobotan elemen harus menekankan pada dampak kerusakan elemen terhadap kesehatan dan fungsi jembatan (Jiang dan Rens, 2010a). Tiga modifikasi dilakukan, diantaranya biaya elemen dihilangkan dari rumus, pengenalan koefisien index non-linier, dan penyesuaian bobot. Untuk menyajikan rasionalitasnya, dibuat deskripsi kondisi dengan menggunakan zona *Health Index* yang ditunjukkan pada Tabel 1. Persamaan 5 – 7 memberikan metode untuk menghitung *Health Index*.

$$H_e = \frac{\sum k_s^n q_s}{\sum q_s} \times 100\% \tag{5}$$

$$we_e^{aj} = w_e \times AF_e \tag{6}$$

$$BHI = \frac{\sum H_e we_e^{aj}}{\sum we_e^{aj}} \times 100 \tag{7}$$

dimana  $q_s$  adalah kuantitas elemen, dan  $k_s^n$  adalah koefisien terhadap *condition state*,  $we_e^{aj}$  adalah koefisien berat elemen dan  $AF_e$  adalah faktor penyesuaian elemen yang ditentukan oleh Gambar 2a.

Penilaian yang dilakukan dengan menggunakan metode ini setara dengan evaluasi pada Level 4 *Bridge Management System* Indonesia (sekarang dinamakan Pedoman Pemeriksaan Jembatan 2022). Adapun dalam penelitian ini, analisis indeks kesehatan jembatan diberikan dengan menggunakan Persamaan 5-7. Untuk mengevaluasi dampak setiap elemen terhadap konstruksi jembatan secara keseluruhan, digunakan bobot koefisien berdasarkan studi Jiang (Jiang dan Rens, 2010a). Untuk penentuan koefisien pada *condition state* dibahas pada Bagian 2.3. Faktor penyesuaian digunakan untuk memperkuat dampak elemen – elemen dalam kondisi buruk terhadap nilai BHI. (Inkoom dkk., 2017), melakukan penilaian dengan dan tanpa penggunaan faktor penyesuaian. Ditemukan bahwa penggunaan faktor penyesuaian lebih obyektif menggambarkan pengaruh elemen pada jembatan secara keseluruhan.

Tabel 1. Deskripsi *Bridge Health Index* (US Army Corps of Engineers (USACE))

BHI	Deskripsi Kondisi
85 – 100	<i>Excellent-No noticeable defects, some aging or wear visible</i>
70 – 84	<i>Very good-Only minor deterioration or defects evident</i>
55 – 69	<i>Good-Some deterioration or defects evident, function not impaired</i>
40 – 54	<i>Fair – Moderate deterioration, function not seriously impaired</i>
25 – 39	<i>Poor-Serious deterioration in at least some portion of structure, function seriously impaired</i>
10 – 24	<i>Very poor-Extensive deterioration, barely functional</i>
0 – 9	<i>Failed-General failure of major component no longer functional</i>

### 2.3 Koefisien *Health Index* (HI)

Koefisien HI adalah koefisien pengali untuk menentukan nilai indeks kesehatan suatu elemen terhadap kuantitas yang sesuai dengan *condition state*. Koefisien ini merupakan nilai pecahan yang dihitung dengan Persamaan 8 dan disebut sebagai koefisien linier ( $k_s$ ).

$$k_s = \frac{n-s}{n-1} \tag{8}$$

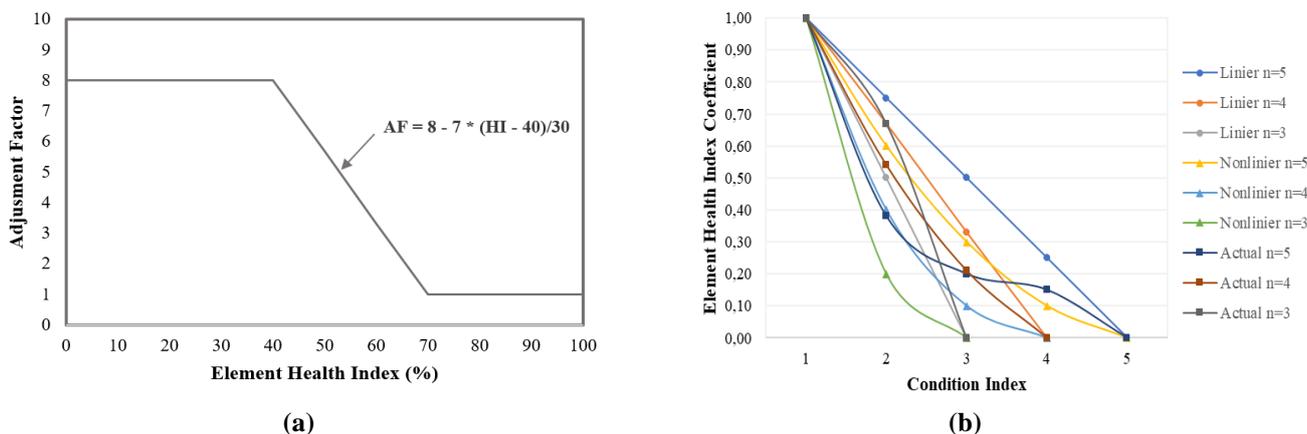
dimana  $k_s$  adalah koefisien *health index* terhadap *condition state*, n adalah jumlah penggunaan *condition state* (n = 3, 4, and 5), dan s adalah is indeks *condition state* (s = 1, 2, ..., n).

Dalam penelitian Jiang dan Rens (Jiang dan Rens, 2010a), penilaian indeks kesehatan dilakukan dengan menggunakan koefisien linear berdasarkan Persamaan 8. Ditemukan bahwa koefisien-koefisien tersebut tidak rasional, sehingga untuk membuat *HI* menjadi lebih konservatif, penggunaan koefisien non-linear, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 diperkenalkan. Untuk penentuan koefisien *HI*, penelitian ini menggunakan tiga pendekatan, diantaranya berupa koefisien linier, nonlinier dan actual yang disajikan pada Gambar 2b.

Tabel 2. Koefisien Non-Linier Health Index

Jumlah Condition States	CS 1	CS 2	CS 3	CS 4	CS 5
5	1.00	0.60	0.30	0.10	0.00
4	1.00	0.40	0.10	0.00	
3	1.00	0.20	0.00		

\* Jiang and Rens (2010)



Gambar 2. Adjustment Factor (Greimann dkk., 1991) (a), Perbandingan linier, nonlinier dan actual koefisien *Health Index* (Jiang, 2012) (b)

## 2.4 Condition State (CS)

Dalam penerapan penggunaan *Health Index* untuk mengetahui nilai jembatan diperlukan penilaian berdasarkan *condition state* yang dilakukan secara visual. Penelitian ini menggunakan *condition state* 4 dalam analisis kondisi elemen jembatan berdasarkan *Manual for Bridge Element Inspection AASHTO* (AASHTO, 2019). Tinjauan elemen dapat mencakup peninjauan terhadap catatan inspeksi lapangan dan foto – foto. Secara umum skala dalam *condition states* berupa *Goods* (CS 1, tidak ada deteriorasi sampai pada pada deteriorasi minor), *Fair* (CS 2, minor sampai pada deteriorasi sedang), *Poor* (CS 3, sedang sampai dengan deteriorasi parah, dan *Severe* (CS 4, kerusakan yang lebih parah dari pada CS 3).

## 2.5 Condition Index Zone

*Condition Index (CI)* adalah ukuran numerik yang mewakili kondisi struktur jembatan, dengan nilai 0% menunjukkan kondisi terendah dan 100% menunjukkan kondisi tertinggi. Indeks ini secara sistematis mengevaluasi dan memberi peringkat pada struktur dan elemen penyusunnya. *Health Index* dimaksudkan untuk memfokuskan manajemen pada struktur yang paling mungkin memerlukan perbaikan dan evaluasi lebih lanjut. Untuk itu zona *health index* yang telah digunakan oleh *U.S. Army Corps of Engineers (USACE)* seperti pada Tabel 3 diadaptasi untuk memberikan saran tindakan berdasarkan *health index* yang dihasilkan.

Tabel 3. Rekomendasi Penanganan *Condition Index (US Army Corps of Engineers (USACE))*

Zona	CI (%)	Rekomendasi Penanganan
1	70 – 100	<i>Immediate action is not required</i>
2	40 – 69	<i>Economic analysis of repair alternatives is recommended to determine appropriate action</i>
3	0 – 39	<i>Detailed evaluation is required to determine the need for repair, rehabilitation, or reconstruction. Safety evaluation is recommended</i>

### 3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Prosedur sistematis analisis jembatan menggunakan *Bridge Health Index* dapat digambarkan dengan penilaian Jembatan Kedungrejo berikut.

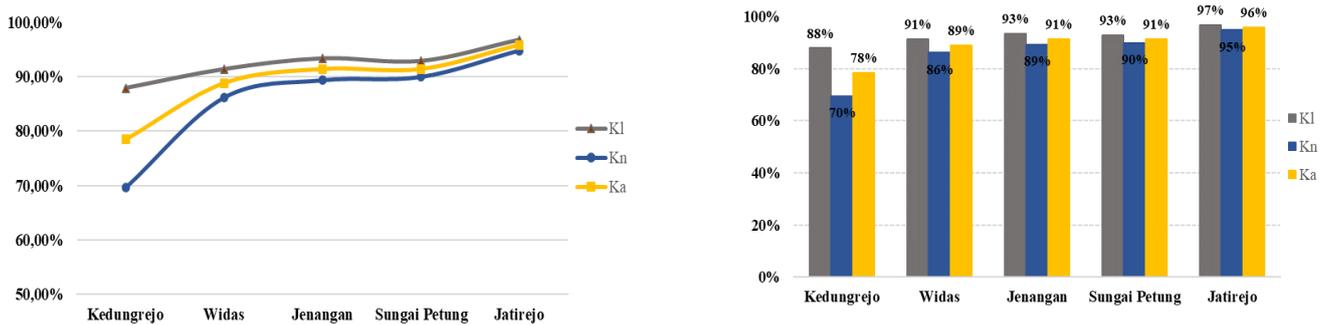
#### 3.1 Penilaian Kondisi Elemen

Penilaian kondisi elemen ditentukan dengan menerapkan *Condition State* yang dijelaskan pada Bagian 2.4. Tingkat kerusakan suatu elemen ditentukan dengan mempertimbangkan semua kerusakan yang dihitung berdasarkan kuantitasnya. Nilai *HI* Jembatan Kedungrejo ditentukan berdasarkan penilaian *condition state* 4, yang kemudian dilanjutkan dengan menggunakan Persamaan 5 - 7. Nilai keseluruhan Jembatan Kedungrejo ditunjukkan pada Tabel 4. Elemen pier memiliki nilai *health index* terkecil diantara elemen lainnya, dimana kerusakan yang terjadi meliputi *cracking* (1130), dan *spalling* (1080).

Tabel 4. Kedungrejo *Bridge Health Index*

No	Kode Elemen	Elemen	$H_e$	AF	$W_e$	$W_e^{aj}$	$W_e^{aj} (%)$	$H_e \times W_e^{aj}$
			a	b	c	$d = b \times c$	$e = d / \sum W_e^{aj}$	
1	30	<i>Steel Deck Corrugated/Orthotropic/Etc.</i>	99,94%	1	7	7	4,95%	7,00
2	109	<i>Prestressed Concrete Girder</i>	99,94%	1	12	12	8,49%	11,99
3	210	<i>Reinforced Concrete Pier Wall</i>	51,32%	5,4	15	80,37	56,85%	41,25
4	215	<i>Reinforced Concrete Abutment</i>	80,62%	1	12	12	8,49%	9,67
5	234	<i>Reinforced Concrete Pier Cap</i>	97,59%	1	15	15	10,61%	14,64
6	306	<i>Expansion Joint with Seal</i>	85,38%	1	7	7	4,95%	5,98
7	310	<i>Elastomeric Bearing</i>	97,50%	1	6	6	4,24%	5,85
8	331	<i>Reinforced Concrete Bridge Railing</i>	97,56%	1	2	2	1,41%	1,95
$\sum$ Total						141,37	100,00%	98,33
BHI							69,55%	

Selain itu, tiga pendekatan bobot koefisien yang telah dibahas sebelumnya digunakan untuk menentukan nilai kondisi jembatan. Pada jembatan kedungrejo nilai *Bridge Health Index* dengan menggunakan koefisien linier, nonlinier dan actual berturut – turut adalah 87,9%, 69,55%, dan 78,48%. Ditemukan bahwa penggunaan bobot linier merupakan pilihan terbaik dalam menentukan nilai jembatan, hasil ini sejalan dengan penelitian Inkoom (Inkoom dkk., 2017). Hal ini dijelaskan karena penggunaan bobot koefisien nonlinier lebih mencerminkan variabilitas sifat material elemen jembatan, deteriorasi dan kejadian stokastik nonlinier lainnya. Hasil perbandingan nilai BHI dari kelima jembatan berdasarkan pendekatan bobot ketiga koefisien ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. *Bridge Health Index* berdasarkan koefisien linier ( $K_l$ ), non linier ( $K_n$ ), dan actual ( $K_a$ ).

#### 3.2 Ranking Prioritas

Perhitungan sistematis, seperti yang diterapkan pada bagian 3.1, dilakukan pada empat jembatan lainnya untuk menentukan nilai *Bridge Health Index*. Nilai akhir dari jembatan-jembatan tersebut kemudian dilakukan perankingan untuk menentukan jembatan mana yang memiliki nilai terendah sehingga tindakan yang tepat dapat diambil. Tabel 5 menunjukkan hasil pemeringkatan kelima jembatan berdasarkan nilai BHI.

Tabel 5. Ranking Prioritas

No	Nama Jembatan	Bridge Health Index
1	Kedungrejo	69,55%
2	Widas	86,15%
3	Jenangan	89,34%
4	Sungai Petung	89,95%
5	Jatirejo	94,82%

Berdasarkan skala zona pada Tabel 1, Jembatan Kedungrejo dapat dikategorikan dalam kondisi baik, beberapa kerusakan atau cacat terlihat, dan fungsinya tidak terganggu. Sementara empat jembatan lainnya berada dalam kondisi *excellent*, namun beberapa tanda penuaan atau keausan terlihat. Rekomendasi tindakan berdasarkan nilai BHI dapat dilihat pada Tabel 3, dijelaskan bahwa Jembatan Kedungrejo masuk pada zona kedua, sehingga untuk menentukan tindakan penanganan yang tepat diperlukan analisis ekonomi terlebih dahulu. Sementara untuk empat jembatan lainnya masuk kedalam zona satu dimana tidak diperlukan tindakan segera, adapun kondisi jembatan dapat ditingkatkan melalui pemeliharaan rutin atau berkala.

#### 4 KESIMPULAN

Penelitian ini menyajikan penerapan metode BHI pada jembatan di Indonesia. BHI memberikan pengaruh yang signifikan dalam penyusunan prioritas penanganan, dimana metode ini mampu mengurutkan nilai indeks kesehatan jembatan dengan memprioritaskan elemen-elemen struktur yang dianggap krusial terhadap kestabilan jembatan. Penggunaan faktor penyesuaian dan bobot koefisien dilakukan untuk menekankan dampak kerusakan elemen terhadap kesehatan dan fungsi jembatan itu sendiri. Terlepas dari hal tersebut, metode ini hanya berfokus pada elemen inti/struktural. Pada saat yang sama, aspek-aspek lain perlu dipertimbangkan dalam menentukan kondisi jembatan secara keseluruhan, seperti elemen pendukung, kapasitas struktur, maupun lalu lintas. Selain itu, menilai aspek kuantitas dari kerusakan yang ditinjau menjadi tantangan tersendiri bagi surveyor untuk melakukan penilaian langsung di lapangan. Namun, hal ini dapat mempermudah dalam mempersiapkan langkah perbaikan yang akan dilakukan. Berdasarkan ranking prioritas penanganan yang diperoleh dari hasil penilaian, Jembatan Kedungrejo menduduki posisi pertama sedangkan Jembatan Jatirejo menduduki posisi terakhir. Perbandingan ketiga bobot koefisien yang dilakukan menunjukkan bahwa koefisien non-linier menghasilkan BHI yang lebih konservatif dalam menggambarkan variabilitas dan deteriorasi material. Metode ini memiliki interpretasi yang baik mengenai kepentingan relatif dari elemen yang disesuaikan dengan faktor penyesuaian sehingga dapat dikombinasikan dengan metode lain ataupun dikembangkan lebih lanjut. Misalnya, faktor penyesuaian seperti koefisien bobot dan faktor penyesuaian dari metode ini dapat dikombinasikan dengan sistem manajemen jembatan Indonesia.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Jasa Marga Tol Ngawi Kertosono Kediri dan seluruh pihak terkait yang telah memberikan laporan inspeksi visual jembatan yang lengkap dan komprehensif serta mengizinkan analisis dan hasilnya untuk digunakan dalam penelitian ini.

#### REFERENSI

- AASHTO, 2019. Manual for Bridge Element Inspection.
- Chase, S.B., Adu-Gyamfi, Y., Aktan, A.E., Minaie, E., 2016. Synthesis of national and international methodologies used for bridge health indices.
- Chassiakos, A.P., Vagiotas, P., Theodorakopoulos, D.D., 2005. A knowledge-based system for maintenance planning of highway concrete bridges. *Advances in Engineering Software* 36, 740–749.
- Greimann, L.F., Stecker, J.H., Kao, A.M., Rens, K.L., 1991. Inspection and rating of miter lock gates. *Journal of performance of constructed facilities* 5, 226–238.
- Inkoom, S., Sobanjo, J.O., Thompson, P.D., Kerr, R., Twumasi-Boakye, R., 2017. Bridge health index: Study of element condition states and importance weights. *Transp Res Rec* 2612, 67–75.
- Jiang, X., 2012. Analysis of Bridge Health Index for The City and Country of Denver, Colorado. University of Colorado, Denver, Colorado.
- Jiang, X., Rens, K.L., 2010a. Bridge health index for the city and county of Denver, Colorado. II: Denver bridge health index. *Journal of performance of constructed facilities* 24, 588–596.

- Jiang, X., Rens, K.L., 2010b. Bridge health index for the city and county of Denver, Colorado. I: Current methodology. *Journal of performance of constructed facilities* 24, 580–587.
- Nugroho, A.P., 2017. Perbandingan Penilaian Kondisi Jembatan Metode BMS (Bridge Management System) dan MPN (Maintenance Priority Number). Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Puspitasari, S.D., Harahap, S., 2023. Bridge inspection implementations and maintenance planning—A comparative analysis of a few distinctive countries, dalam: *AIP Conference Proceedings*. AIP Publishing LLC, hlm. 050007.
- Puspitasari, S.D., Harahap, S., Astuti, P., 2022. A Critical Review of Bridge Management System in Indonesia, dalam: *Proceedings of the 5th International Conference on Rehabilitation and Maintenance in Civil Engineering: ICRMCE 2021*, July 8-9, Surakarta, Indonesia. Springer, hlm. 381–389.
- Ramdhani, A.L., Sumargo, 2020. Comparison of Condition Rating and Bridge Remaining Life Based on Bridge Management System and Bridge Condition Ratio, dalam: *International Seminar of Science and Applied Technology (ISSAT 2020)*. Atlantis Press, hlm. 191–196.
- Shepard, R.W., Johnson, M.B., 2001. California bridge health index: A diagnostic tool to maximize bridge longevity, investment. *TR News*.
- Sobanjo, J.O., Thompson, P.D., 2016. Implementation of the 2013 AASHTO manual for bridge element inspection.
- Tanubrata, M., Asmara, D.H., 2008. Studi Manajemen Pemeliharaan Jalan Tol Padalarang-Cileunyi. *Jurnal Teknik Sipil* 4, 28–45.
- Vaza, H., 2016. Research on the Improvement of Bridge Management System 1992" Case of Bridge Condition Assessment in the Decentralized Indonesia".
- Wahyudhi, O., Aminullah, A., Triwiyono, A., 2018. Modifikasi Penilaian pada Sistem Manajemen Jembatan di Indonesia (Interurban Bridge Management System) dengan Mengimplementasikan Condition States dari Metode Bridge Health Index. *Prosiding Semnas SINTA FT UNILA 1*.
- Wakchaure, S.S., Jha, K.N., 2012. Determination of bridge health index using analytical hierarchy process. *Construction Management and Economics* 30, 133–149.
- Wijaya, A.S., Aminullah, A., Nugroho, A.S.B., 2021. Prioritas Pemeliharaan Jembatan Pada Ruas Jalan Nasional Daerah Istimewa Yogyakarta. *Civil Engineering, Environmental, Disaster & Risk Management Symposium*.